

# Генераторы на основе цифровых микросхем

(часть 2)

Сергей Копылов, Дмитрий Николаев,  
Геннадий Шишкин (Нижегородская обл.)

Рассмотрены возможные схемотехнические решения генераторов прямоугольных импульсов на основе D-триггеров и варианты времязадающих элементов. Приведены формулы для расчёта периода повторения импульсов. Выполнен сравнительный анализ технических решений.

Наличие в рассматриваемых генераторах двух квазиустойчивых состояний определяет необходимость в соответствующих цепях положительной обратной связи. Для реализации переключения генератора необходимы цепи отрицательной обратной связи, а для обеспечения надёжного переключения генератора цепи отрицательной обратной связи должны пропускать постоянную составляющую входных сигналов.

Цепи положительной обратной связи могут быть внешними по отношению к усилительному элементу или встроенными в усилительный элемент. Встраивание цепей положительной обратной связи реализуется при использовании в качестве усилительного элемента триггера Шмитта или RS-триггера.

При использовании в качестве усилительного элемента асинхронного D-триггера в виде двух последовательно соединённых инверторов необходимы внешние цепи положительной обратной связи. В этом случае требуется один времязадающий элемент, который должен выполняться в виде интегродифференцирующей цепи. Дифференцирование входных сигналов осуществляется цепью положительной обратной связи, интегрирование – цепью отрицательной обратной связи. Цепь положительной обратной связи при переключении генератора обеспечивает коммутацию уровня вход-

ного сигнала усилительного элемента. Для надёжного переключения генератора сигнал на входе цепи положительной обратной связи должен опережать сигнал на входе цепи отрицательной обратной связи. Времязадающий элемент должен обеспечивать по цепи отрицательной обратной связи необходимую задержку как сигнала лог. 1, так и сигнала лог. 0.

Пример схемной реализации генератора с универсальным времязадающим элементом приведен на рисунке 4, где

$$K1 = \frac{R_0}{1+k}.$$

Напряжение на конденсаторе в момент начала положительного импульса на выходе Q (окончания паузы) описывается выражением  $U_{\text{н}} = (1+d)U_{\text{п}} - dE$ , где  $U_{\text{п}}$  – порог переключения первого инвертора D-триггера в момент окончания импульса (начала паузы)  $U_{\text{к}} = E - (1+d)U_{\text{п}}$ .

В момент переключения генератора при малых значениях  $d$ , когда напряжение на конденсаторе больше  $dE$ , возможен частичный ускоренный разряд конденсатора с участием диодов входной защитной цепи первого инвертора [8]. Следовательно, ускоренный разряд в начале импульса происходит при

$$d < \frac{U_{\text{п}}}{2E - U_{\text{п}}},$$

а в начале паузы – при

$$d < \frac{E - U_{\text{п}}}{E + U_{\text{п}}}.$$

Длительность ускоренного разряда конденсатора во время импульса равна

$$t_{\text{иу}} = CR_0 \frac{k+d+kd}{(1+k)^2} \times$$

$$\times \ln \frac{(k-d-kd)E + (1+d)(1+k)U_{\text{п}}}{(k+d+kd)E}.$$

Длительность дальнейшего перезаряда конденсатора во время импульса

$$t_{\text{ид}} = \frac{1+d}{1+k} CR_0 \ln \frac{E}{U_{\text{п}}}.$$

При  $d < \frac{U_{\text{п}}}{2E - U_{\text{п}}}$  длительность импульса  $t_{\text{и}} = t_{\text{иу}} + t_{\text{ид}}$

При  $1 > d \geq \frac{U_{\text{п}}}{2E - U_{\text{п}}}$  длительность импульса составляет

$$t_{\text{и}} = \frac{1+d}{1+k} CR_0 \ln \frac{(1-d)E + (1+d)U_{\text{п}}}{(1+d)U_{\text{п}}}.$$

Длительность ускоренного разряда конденсатора во время паузы равна

$$t_{\text{пу}} = CR_0 \frac{k+d+kd}{(1+k)^2} \times$$

$$\times \ln \frac{(1+2k)E - (1+k)(1+d)U_{\text{п}}}{(k+d+kd)E}.$$

Длительность дальнейшего перезаряда конденсатора составляет

$$t_{\text{пд}} = \frac{1+d}{1+k} CR_0 \ln \frac{E}{E - U_{\text{п}}}.$$

При  $d < \frac{E - U_{\text{п}}}{E + U_{\text{п}}}$ , длительность паузы  $t_{\text{п}} = t_{\text{пу}} + t_{\text{пд}}$

При  $1 > d \geq \frac{E - U_{\text{п}}}{E + U_{\text{п}}}$  длительность

$$\text{паузы } t_{\text{п}} = \frac{1+d}{1+k} CR_0 \ln \frac{2E - (1+d)U_{\text{п}}}{(1+d)(E - U_{\text{п}})}.$$

Для упрощения схемы генератора один из резисторов с сопротивлением  $kR_1$  или  $dR_1$  можно исключить.

При  $k = 0$  полученные формулы принимают следующий вид:

а) для длительности импульса

– при  $d < \frac{U_{\Pi}}{2E - U_{\Pi}}$

$$t_{\text{им}} = dCR_0 \ln \frac{(1+d)U_{\Pi} - dE}{dE},$$

$$t_{\text{пл}} = (1+d)CR_0 \ln \frac{E}{U_{\Pi}};$$

– при  $1 > d \geq \frac{U_{\Pi}}{2E - U_{\Pi}}$

$$t_{\text{им}} = (1+d)CR_0 \ln \frac{(1-d)E + (1+d)U_{\Pi}}{(1+d)U_{\Pi}};$$

б) для длительности паузы

– при  $d < \frac{E - U_{\Pi}}{E + U_{\Pi}}$

$$t_{\text{им}} = dCR_0 \ln \frac{E - (1+d)U_{\Pi}}{dE},$$

$$t_{\text{пл}} = (1+d)CR_0 \ln \frac{E}{E - U_{\Pi}}.$$

– при  $1 > d \geq \frac{E - U_{\Pi}}{E + U_{\Pi}}$

$$t_{\text{им}} = (1+d)CR_0 \ln \frac{2E - (1+d)U_{\Pi}}{(1+d)(E - U_{\Pi})}.$$

При  $d = 0$

$$t_{\text{им}} = \frac{kCR_0}{(1+k)^2} \ln \frac{kE + (1+k)U_{\Pi}}{kE},$$

$$t_{\text{пл}} = \frac{CR_0}{1+k} \ln \frac{E}{U_{\Pi}},$$

$$t_{\text{им}} = \frac{kCR_0}{(1+k)^2} \ln \frac{(1+2k)E - (1+k)U_{\Pi}}{kE},$$

$$t_{\text{пл}} = \frac{CR_0}{1+k} \ln \frac{E}{E - U_{\Pi}}.$$

Период  $T$  повторения импульсов генератора в любом из рассмотренных вариантов равен сумме длительностей импульса и паузы.

График зависимости относительного значения периода повторения импульсов  $T_{\text{отн}} = T/(CR_0)$  от значений

$d$  и  $k$  при  $U_{\Pi} = 0,5E$  приведён на рисунке 5. При  $d=0$  максимальное значение относительного периода повторения импульсов  $T_{\text{отн max}} = 1,57$  достигается при  $k_{\text{опт}} = 0,11$ . При  $k=0$   $T_{\text{отн max}} = 1,94$  при  $d_{\text{опт}} = 0,22$ . Приведённые значения  $k$  и  $d$  можно считать оптимальными для соответствующих схемотехнических решений генератора. Поскольку  $k_{\text{опт}} < d_{\text{опт}}$ , при  $d=0$  наблюдается увеличение тока ускоренного перезаряда конденсатора, формируемого вторым инвертором и протекающего через диоды входной защитной цепи первого инвертора.

График зависимости  $T_{\text{отн}}$  от значения  $U_{\Pi}$  при  $k=0$  и  $d=0,22$  приведён на рисунке 6. Из него следует, что увеличение или уменьшение  $U_{\Pi}$  относительно значения  $U_{\Pi} = 0,5E$  приводит к увеличению периода повторения импульсов примерно на 6%. Среднее значение периода достигается при  $U_{\Pi} = 0,35E$  и при  $U_{\Pi} = 0,65E$ . При других значениях  $k$  и  $d$  характер указанной зависимости сохраняется.

Недостатком генератора по схеме рис. 4 является возможность «зависания» инверторов в линейном режиме, когда напряжение на конден-

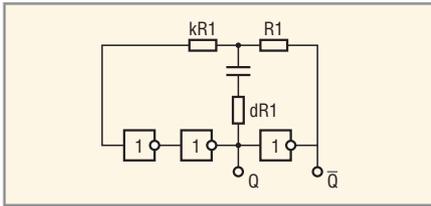


Рис. 4. Схема генератора на основе асинхронного D-триггера

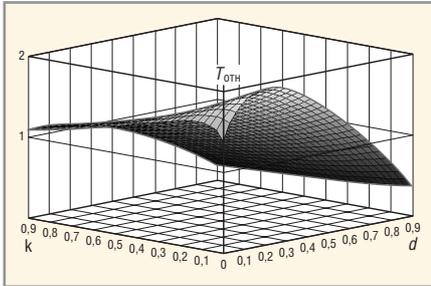


Рис. 5. График зависимости периода повторения импульсов от соотношений сопротивлений резисторов

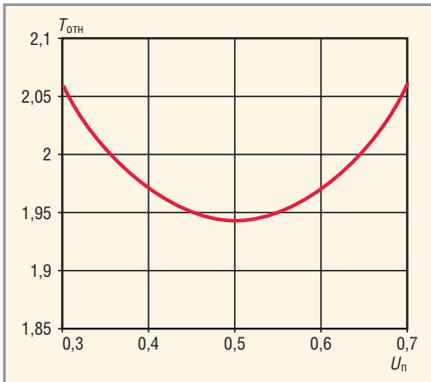


Рис. 6. График зависимости периода повторения импульсов от порога переключения инвертора

саторе устанавливается равным разности порогов переключения первого и третьего инверторов и близко к нулю. Для исключения указанного недостатка в схеме рис. 4 вместо первого инвертора может использоваться триггер Шмитта. В этом случае  $U_n = (1 + d)U_{cp} - dE$ , где  $U_{cp}$  – порог срабатывания, а  $U_{отп}$  – порог отпускания триггера Шмитта.

Длительность импульса

– при  $d < \frac{U_{cp}}{2E - U_{cp}}$

$$t_{ny} = CR_0 \frac{k + d + kd}{(1 + k)^2} \times$$

$$\times \ln \frac{(k - d - kd)E + (1 + d)(1 + k)U_{cp}}{(k + d + kd)E};$$

$$t_{изд} = \frac{1 + d}{1 + k} CR_0 \ln \frac{E}{U_{отп}};$$

– при  $\frac{U_{cp}}{2E - U_{cp}} \leq d < \frac{E + (U_{cp} - U_{отп})}{E - (U_{cp} - U_{отп})}$ ,

где  $\frac{E + (U_{cp} - U_{отп})}{E - (U_{cp} - U_{отп})} > 1$ ,

$$t_{изд} = CR_0 \frac{1 + d}{1 + k} \ln \frac{(1 - d)E + (1 + d)U_{cp}}{(1 + d)U_{отп}}.$$

Длительность паузы

– при  $d < \frac{E - U_{отп}}{E + U_{отп}}$ ,

$$t_{изд} = CR_0 \frac{k + d + kd}{(1 + k)^2}$$

$$\ln \frac{(1 + 2k)E - (1 + k)(1 + d)U_{отп}}{(k + d + kd)E};$$

$$t_{изд} = CR_0 \frac{1 + d}{1 + k} \ln \frac{E}{E - U_{cp}};$$

– при  $\frac{E - U_{отп}}{E + U_{отп}} \leq d < \frac{E + (U_{cp} - U_{отп})}{E - (U_{cp} - U_{отп})}$ ,

где  $\frac{E + (U_{cp} - U_{отп})}{E - (U_{cp} - U_{отп})} > 1$ ,

$$t_{изд} = CR_0 \frac{1 + d}{1 + k} \ln \frac{2E - (1 + d)U_{отп}}{(1 + d)(E - U_{cp})}.$$

При использовании ИС триггера Шмитта типа 564ТЛ1, для которого  $U_{cp} = 0,6E$  и  $U_{отп} = 0,36E$  при  $E = 10$  В [7], верхняя граница значений  $d$  увеличивается с 1 до 1,63; зависимость  $T_{отп}$  от значений  $k$  и  $d$  аналогична схеме, приведённой на рисунке 5. При  $d = 0$  значение  $T_{отп \max} = 2,10$  достигается при  $k_{отп} = 0,09$ ; если  $k = 0$ , то значение  $T_{отп \max} = 2,85$  при  $d = 0,35$ .

При использовании триггера Шмитта возможно упрощение схемы, показанной на рис. 4, путём исключения третьего инвертора и подключения резистора R1 к выходу первого инвертора [7]. Однако в этом случае при переключении генератора сигнал в цепи отрицательной обратной связи опережает сигнал в цепи положительной обратной связи, вследствие чего на обоих входах времязадающего элемента на время задержки сигнала во втором инверторе устанавливаются одинаковые уровни напряжения, и при  $d \neq 0$  изменяется сигнал на выходе время-

задающего элемента. Для нормального функционирования генератора изменение выходного сигнала времязадающего элемента не должно превышать разность порогов срабатывания и отпускания триггера Шмитта, что обеспечивается при

$$d < \frac{U_{cp} - U_{отп}}{E - (U_{cp} - U_{отп})}.$$

При использовании ИС триггера Шмитта типа 564ТЛ1 при  $E = 10$  В максимальное значение  $d$  составляет 0,32.

Необходимо отметить, что полученное ограничение справедливо только для высокочастотных генераторов, отличающихся малыми значениями сопротивления R1, когда задержка сигнала на входной ёмкости триггера Шмитта не превышает задержку сигнала во втором инверторе.

Таким образом, при разработке генераторов на основе асинхронных D-триггеров с использованием КМОП логических элементов необходимо иметь в виду, что:

- наибольшее значение периода повторения импульсов достигается при соотношении сопротивлений резисторов времязадающего элемента  $k = 0$  и  $d = 0,22$ ;
- расчёт периода повторения импульсов целесообразно производить для порога переключения первого инвертора  $U_n = 0,35E$  или  $U_n = 0,65E$ ;
- при отличии реального порога переключения от указанных значений настройку периода повторения можно производить резистором R1;
- замена первого инвертора на триггер Шмитта позволяет повысить надёжность функционирования генератора, увеличить период повторения импульсов и оптимальное значение  $d$  с 0,22 до 0,35;
- исключение третьего инвертора в высокочастотных генераторах с триггером Шмитта может приводить к ограничению максимального значения  $d$  на уровне 0,32.

### ЛИТЕРАТУРА

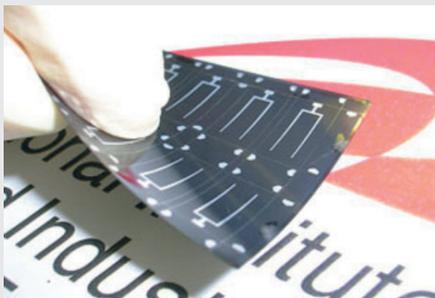
7. Цифровые интегральные микросхемы: Справочник. Радио и Связь, 1994.
8. Пат. 2146075 РФ, МКИ H03K 3/023. Генератор прямоугольных импульсов. И.И. Дикарев, Г.И. Шишкин. Изобретения. Полезные модели. 2000. № 6. ©

## Решена проблема производства гибких солнечных батарей

Японский Национальный институт передовых наук и технологий в промышленности (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, AIST) объявил, что удалось достигнуть эффективности величиной в 17,7% для солнечных батарей из CIGS (полупроводниковый материал, составленный из меди, иридия, галлия и селена) на гибкой подложке. Эффективность солнечных батарей, разработанных специалистами института, является одной из самых высоких в мире для своего класса.

Производство гибких солнечных ячеек до сих пор сталкивается с проблемой формирования полупроводника р-типа. Концентрация полупроводников р-типа в гибких CIGS-батареях контролируется добавлением металлов щелочной группы, например натрия. Это может быть селенид или фторид натрия. Но  $\text{Na}_2\text{Se}$  и  $\text{NaF}$  нестабильны и дают плохо предсказуемый результат.

Коллективом AIST разработана технология, названная методом тонкослойного щелочно-силикатного стекла. По этому методу слой силикатного стекла первым формируется на подложке, щелочной металл проникает сквозь задний электрод с помощью диффузии и попадает в поглощающий свет слой. Количество проникающего металла щелочной группы зависит от параметров формирования слоя силикатного стекла. Метод облегчает добавление щелочного металла и повышает однородность материала, оказывая влияние на эффективность солнечных батарей.

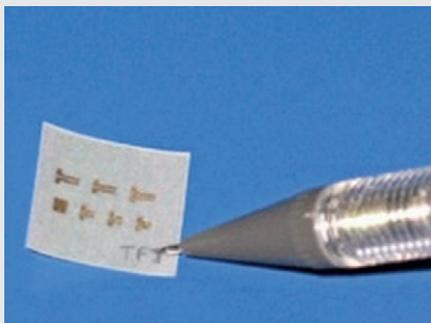


AIST использует в производстве батарей три вида подложек – керамическую, прозрачную пластиковую плёнку производства Teijin и титановую фольгу с грубой поверхностью. Эффективность в 17,7% была достигнута с керамической подложкой. Эффективность при использовании пластиковой плёнки и титановой фольги составляет 14,7 и 17,4%.

3dnews

## Транзисторы на бумаге станут основой «умной» упаковки

Команда учёных из Центра исследования материалов факультета науки и технологии Нового университета Лиссабона (Centro de Investigacao de Materiais da Faculdade de Ciencias e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa), возглавляемая Эльвирой Фортунату (Elvira Fortunato) и Родригу Мартинсом (Rodrigo Martins), создала первый в мире полевой транзистор на бумажном слое.



Существует устойчивый интерес к применению биополимеров в электронных устройствах нижней ценовой группы. К целлюлозе как главному биополимеру на Земле приковано пристальное внимание. Многие исследовательские группы рапортовали об использовании бумаги в качестве физической основы электронных устройств, однако пока никому не удавалось возложить на бумагу активную роль в полевых транзисторах.

В новом методе обычный лист бумаги работает как диэлектрический слой в оксидном полевом транзисторе. Исследователи построили устройства с обеих сторон листа бумаги. При этом бумага одновременно играет роль электрического изолятора и подложки.

Кроме того, электрические характеристики устройств свидетельствуют о том, что они опережают соответствующие показатели аморфных кремниевых TFT (thin film transistor) и конкурируют с оксидными тонкоплёночными транзисторами.

Эти результаты позволяют говорить о появлении новых электронных устройств, таких как бумажные дисплеи, «умные» этикетки и упаковки, различные биоприложения, метки радиочастотной идентификации. Подробные данные испытаний будут опубликованы в сентябрьском докладе института IEEE (IEEE Electron Device Letters).

3dnews

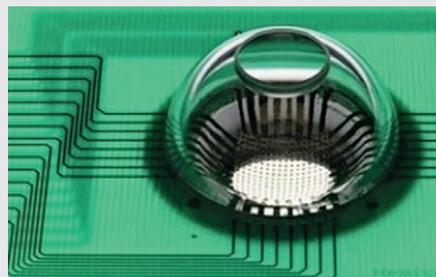
## Создана цифровая камера, имитирующая устройство человеческого глаза

Используя стандартные сенсорные материалы, американские учёные создали цифровую камеру, дизайн которой напоминает устройство человеческого глаза.

Авторам изобретения, профессору Юнган Хуану из Северо-Западного университета и Джону Роджерсу из Университета Иллинойса в Урбане-Шампэйн, удалось найти простое решение основной проблемы – размещение микросенсорных компонентов на криволинейной поверхности.

В интервью Хуан рассказал, что используемые при создании камеры материалы очень хрупки и при попытке согнуть их ломаются. Для размещения фотодатчиков и электронных компонентов на изогнутой поверхности Хуан и Роджерс использовали своеобразные малогабаритные ячейки, соединённые микроскопическими проводниками.

Создатели утверждают, что оно способно улучшить качество изображений, получаемых с помощью цифровых фотоаппаратов и видеокамер. Сегодня на стандартных фотографиях чётким является только центральная часть, ближе к краям изображение становится размытым, а использование новой технологии позволяет добиться резкости всей картинке. Однако учёные рассчитывают на гораздо более широкое применение своего изобретения.



Используемый учёными подход позволяет применять электронику в ранее недоступных областях. При поддержке Национального научного фонда и министерства энергетики США Хуан и Роджерс сконструировали полноценную цифровую камеру, по устройству, форме и габаритам напоминающую человеческий глаз. По мнению Хуана, новое устройство может применяться при создании гибких сенсорных инструментов для изучения человеческого мозга. Возможно, впоследствии учёным удастся создать искусственную сетчатку или глаз целиком.

В настоящий момент камера прекрасно работает с компьютером, учёным осталось решить главный вопрос – сделать камеру частью человеческого организма.

science.compulenta.ru